

MENENTUKAN UNJUK KERJA SISTEM PENDINGIN SECARA ANALITIS

Oleh :

Ir. Prajitno*)

Ir. Janu Pardadi*)

INTISARI

Sistem pendingin dirancang berdasarkan beban pendinginan tertentu dengan memperhatikan faktor-faktor eksternal yang sesuai dengan kondisi setempat. Unjuk kerja sistem pendingin dipengaruhi oleh perubahan kondisi kerja. Unjuk kerja dapat dianalisis secara analitis dengan mengetahui karakteristik tiap komponen sistem pendingin. Hasil analisis ini dapat digunakan untuk mengetahui kondisi-kondisi eksternal yang harus dihindarkan agar sistem tetap dapat bekerja semestinya.

Pendahuluan

Suatu sistem pendingin biasanya dirancang berdasarkan beban pendinginan tertentu dengan memperhatikan faktor-faktor eksternal berupa sarana pendukung sesuai dengan kondisi setempat. Unjuk kerja sistem pendingin yang telah dirancang tersebut akan berubah jika selama beroperasinya terjadi penyimpangan-penyimpangan yang diakibatkan oleh perubahan faktor-faktor eksternal. Sedangkan tiap komponen yang menyusun sistem pendingin mempunyai karakteristik tertentu

Analisis matematis

Pendekatan dalam analisis ini adalah dengan anggapan bahwa sistem yang ditinjau dianggap sebagai sistem yang serba terus, deterministik dan sudah berada dalam keadaan stasioner yaitu bahwa fluida kerja mengalir terus menerus ke dalam sistem dengan laju aliran massa tertentu dan sistem dianalisis setelah mencapai kondisi stasioner kembali akibat perubahan kondisi eksternal.



CORE

[Metadata, citation and similar papers at core.ac.uk](#)

Provided by UGM Journals, OAI Repository

secara analitis. Analisis secara grafis dilakukan dengan menggabungkan grafik-grafik yang menunjukkan karakteristik tiap komponen sehingga dapat diketahui pengaruh perubahan kondisi eksternal terhadap unjuk kerja sistem. Data/catalog tiap komponen pada umumnya tersedia untuk daerah kerja yang terbatas, sehingga daerah unjuk kerja yang dapat diketahui juga terbatas. Jika data/catalog tiap komponen tersebut dapat disajikan dalam bentuk matematik maka unjuk kerja dapat ditentukan secara analisis. Pengaruh perubahan faktor-faktor eksternal dapat diketahui dengan menyelesaikan sistem persamaan yang diperoleh dengan analisis numerik atau analisis regresi.

an matematik tersebut dapat dibentuk dengan metode analisis numerik atau analisis regresi berdasarkan data eksperimen/catalog atau berdasarkan hukum-hukum fisika yang dapat diterapkan untuk menyusun persamaan karakteristik komponen yang bersangkutan. Dengan menyelesaikan persamaan-persamaan tadi akan diperoleh unjuk kerja sistem berdasarkan kondisi eksternal tertentu. Jika kondisi eksternal berubah maka dapat diketahui pengaruhnya terhadap unjuk kerja sistem.

Pembahasan

Sistem yang ditinjau adalah suatu sistem pendingin dengan siklus kompresi uap yang kondensernya didinginkan air dan evaporatornya berfungsi untuk mendinginkan air (water chiller). Bagian-bagian utama sistem pendingin tersebut adalah :

*) Staf pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UGM

1. Kompresor

Karakteristik kompresor sebagai fungsi temperatur kerja evaporator dan condenser dapat dinyatakan dalam bentuk matematikanya untuk kapasitas pendinginan dan daya compressinya, masing-masing adalah :

$$Q = f (TE, TC) \dots\dots\dots (1)$$

$$P = f (TE, TC) \dots\dots\dots (2)$$

2. Condenser

Panas yang dilepas oleh condenser ditentukan oleh temperatur kerja condenser, temperatur air pendingin yang tersedia dan konduktansi total permukaan perpindahan panas serta laju aliran massa air pendingin.

Karakteristik condenser dalam bentuk matematikanya adalah :

$$TA2 = TA1 + (TC - TA1) [1 - e^{-NC}] \dots\dots (3)$$

$$NC = (UA) c/(mc) w$$

3. Evaporator

Kapasitas pendinginan evaporator ditentukan oleh temperatur kerja evaporator dan temperatur air masuk evaporator.

Karakteristik evaporator dalam bentuk matematikanya adalah :

$$TB2 = TB1 - (TB1 - TE) [1 - e^{-NE}] \dots\dots (4)$$

$$NE = (UA) e/(mc) b$$

Panas yang diserap evaporator :

$$Q = mb . cb (TB1 - TB2) \dots\dots\dots (5)$$

4. Peralatan ekspansi

Peralatan ekspansi dalam sistem ini tidak ditinjau dengan anggapan mampu mengatur aliran refrigerant menuju evaporator sedemikian hingga permukaan pada sisi refrigerant senantiasa dalam keadaan basah oleh cairan refrigerant.

Panas yang dilepas oleh condenser :

$$Qc = mw . cw (TA2 - TA1) \dots\dots\dots (6)$$

Daya kompresor ekuivalen dengan selisih antara panas yang dilepas oleh condenser dan panas yang diserap oleh evaporator .

$$P = Qc - Q \dots\dots\dots (7)$$

Unjuk kerja sistem pendingin dinyatakan dalam :

$$COP = Q/P \dots\dots\dots (8)$$

Jika TE, TC, TB2, TA2 adalah parameter-parameter yang harus dicari, maka harus dibentuk susunan persamaan sebagai berikut.

Dari persamaan (7) disusun suatu fungsi R1 :

$$R1 (TA2, TB2, TC, TE) = Qc - Q - P \dots\dots (9)$$

Dari persamaan (2) disusun suatu fungsi R2 :

$$R2 (TA2, TB2, TC, TE) = TA1 + (TC - TA1) [1 - e^{-NC}] - TA2 \dots\dots (10)$$

Dari persamaan (4) disusun suatu fungsi R3 :

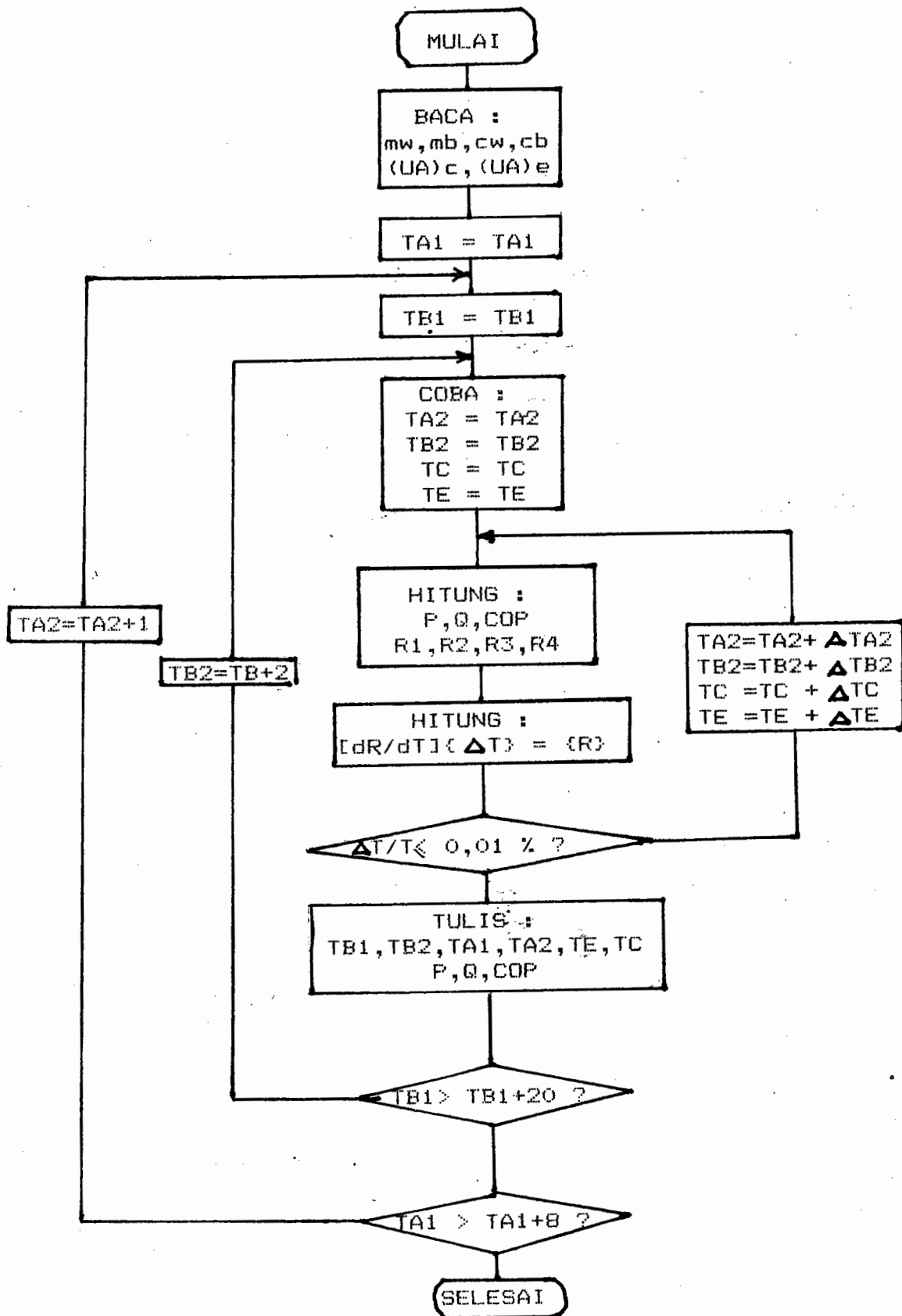
$$R3 (TA2, TB2, TC, TE) = TB1 - (TB1 - TE) [1 - e^{-NE}] - TB1 \dots\dots (11)$$

Dari persamaan (5) disusun suatu fungsi R4 :

$$R4 (TA2, TB2, TC, TE) = mb . cb (TB1 - TB2) - Q$$

TA2, TB2, TC, TE diperoleh dengan menyelesaikan persamaan-persamaan (9), (10), (11) dan (12). Daya kompresor, kapasitas pendinginan dan COP dihitung dengan persamaan-persamaan (1), (2) dan (8).

Diagram alir perhitungan



Berikut ini adalah contoh perhitungan berdasarkan data di bawah ini :

a. Condenser :

$$\begin{aligned} \text{Konduktansi total} \quad UA &= 26,5 \text{ kW/K} \\ \text{Laju aliran massa} \quad mw &= 7,6 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

b. Evaporator :

$$\begin{aligned} \text{Konduktansi total} \quad UA &= 30,6 \text{ kW/K} \\ \text{Laju aliran massa} \quad mb &= 6,8 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

c. Kompresor :

Kapasitas pendinginan :

$$\begin{aligned} Q &= 239,5 + 10,073 \text{ TE} - 0,109(\text{TE})^2 \\ &\quad - 3,41 \text{ TC} - 0,0025(\text{TC})^2 - 0,203 \text{ TE} \cdot \text{TC} \\ &\quad - 0,0082(\text{TE})^2 \cdot \text{TC} + 0,0013 \text{ TE}(\text{TC})^2 \\ &\quad - 0,000080005 (\text{TE} \cdot \text{TC})^2 \text{ kW} \end{aligned}$$

Daya kompresor :

$$\begin{aligned} P &= -2,634 - 0,3081 \text{ TE} - 0,00301 (\text{TE})^2 \\ &\quad - 1,066 \text{ TC} - 0,00528 (\text{TC})^2 - 0,0011 \\ &\quad \text{TE} \cdot \text{TC} - 0,000306 (\text{TE})^2 \cdot \text{TC} \\ &\quad + 0,00056 \text{ TE} (\text{TC})^2 + 0,0000031 (\text{TE} \cdot \text{TC})^2 \text{ kW} \end{aligned}$$

Temperatur air masuk condenser dibuat bervariasi dari 25° C sampai 33° C. Temperatur air masuk evaporator dibuat bervariasi dari 6° C sampai 26° C.

Analisa Perhitungan

Dari hasil perhitungan di atas tampak pada grafik 1 bahwa kenaikan temperatur air masuk condenser (TA1) akan menurunkan harga COP. Pada keadaan temperatur air masuk condenser tertentu kenaikan beban pendinginan akan menaikkan temperatur kerja condenser dan temperatur kerja evaporator, seperti pada grafik 2. Kenaikan beban pendinginan ini juga akan menambah daya kompresor dan mengakibatkan menurunnya harga COP.

Pengaruh yang lebih dominan antara perubahan temperatur air masuk condenser dan perubahan temperatur air masuk evaporator dapat dianalisa dengan membandingkan harga COP yang diakibatkan oleh tingkat perubahan yang sama untuk TA1 maupun TB1 dan mempergunakan sebagian hasil perhitungan yang disajikan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 1. Pengaruh perubahan TA1 dan TB1 terhadap COP

TA1	TB1	P	Q	COP
25	10	30.11	133.88	4.45
25	12	31.82	141.01	4.43
30	10	34.34	120.05	3.50
30	12	36.54	126.37	3.46

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa perubahan TB1 sebesar 20 % mengakibatkan kenaikan daya kompresor sebesar 5.68 % dan kenaikan kapasitas pendinginan sebesar 5.33 %, tetapi COP hanya turun 0.45 %. Jika temperatur air masuk condenser naik 20 %, daya kompresor naik 14.05 % dan kapasitas pendinginan turun 10.33 %, sehingga COP turun sebesar 21.35 %. Dengan demikian pengaruh perubahan temperatur air masuk condenser lebih dominan daripada perubahan temperatur air masuk evaporator atau beban pendinginan.

Kesimpulan

Dari hasil perhitungan di atas dapat diambil kesimpulan antara lain :

1. Temperatur kerja evaporator dan condenser dipengaruhi oleh perubahan beban pendinginan dan temperatur air pendingin condenser yang tersedia. Jika terjadi kenaikan beban pendinginan (kenaikan

TB1), maka temperatur kerja evaporator maupun condenser naik dan COP akan turun.

Jika terjadi kenaikan temperatur air masuk condenser, kapasitas pendinginan akan turun, daya kompresor akan naik dan COP turun.

2. Dengan cara perhitungan ini dapat dihindarkan kondisi kerja yang tidak mungkin dilaksanakan akibat pembekuan air dingin pada evaporator.
3. Penyediaan air pendingin condenser perlu diperhatikan karena sangat mempengaruhi kapasitas pendingin dan daya kompresor.
4. Dengan meninjau parameter-parameter yang makin banyak dalam sistem pendingin ini, analisis dapat dikembangkan ke arah optimasi untuk mencari kondisi kerja yang paling baik. Tetapi hal ini memerlukan pembahasan tersendiri.

DAFTAR PUSTAKA

1. ARORA C.P., Refrigeration and Air Conditioning, Tata McGraw Hill Publishing Company, Ltd., New Delhi.
2. CHAPRA S.C., Ph.D. and CANALE R.P., Ph.D., 1985, Numerical Methods for Engineers, McGraw Hill Book Company, Singapore.
3. GERALD C.F., 1978, Applied Numerical Analysis, Addison-Wisley Publishing Company, Singapore.
4. HENRICI P., 1964, Element of Numerical Analysis, John Wiley and Sons, Inc., New York.
5. HOLMAN J.P., 1981, Heat Transfer, 5th edition, McGraw Hill, Inc. Tokyo.
6. KREITH F., 1973, Principles of Heat Transfer, 3th. edition, Harper and Row, New York.
7. STOECKER W.F., 1980, Design of Thermal System, 2nd edition, McGraw Hill Kogakusha, Tokyo.
8. STOECKER W.F. and Jones J.W., 1982, Refrigeration and Air Conditioning, 2nd edition, Tata McGraw Hill Publishing Company, Ltd., New Delhi.

```

1060 LPRINT "          P : Power Input"
1070 LPRINT "          Q : Kapasitas"
1080 LPRINT "          COP : Unjuk Kerja"
1090 LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT:LPRINT
1100 NEXT II
1110 INPUT "Ingin Menghitung Lagi (Y/T) ";A$
1120 IF A$="Y". GOTO 120 ELSE 1130
1130 END
1140 FOR I=1 TO 4
1150 FOR J=1 TO 4
1160 B(I,J)=A(I,J)
1170 NEXT J
1180 NEXT I
1190 GOSUB 1350
1200 FOR I=1 TO 4
1210 FOR J=1 TO 4
1220 C(I,J)=0
1230 FOR K=1 TO 4
1240 C(I,J)=C(I,J)+B(I,K)*A(K,J)
1250 NEXT K
1260 NEXT J
1270 NEXT I
1280 FOR I=1 TO 4
1290 X(I)=0
1300 FOR J=1 TO 4
1310 X(I)=X(I)+A(I,J)*R(J)
1320 NEXT J
1330 NEXT I
1340 RETURN
1350 FOR I=1 TO 4
1360 P(I)=A(I,I)
1370 A(I,I)=1
1380 FOR J=1 TO 4
1390 A(I,J)=A(I,J)/P(I)
1400 NEXT J
1410 FOR K=1 TO 4
1420 IF K=I THEN 1480
1430 T=A(K,I)
1440 A(K,I)=0
1450 FOR L=1 TO 4
1460 A(K,L)=A(K,L)-A(I,L)*T
1470 NEXT L
1480 NEXT K
1490 NEXT I
1500 RETURN

```

Analisa Perhitungan

Dari hasil perhitungan di atas tampak pada grafik 1 bahwa kenaikan temperatur air masuk condenser (TA1) akan menurunkan harga COP. Pada keadaan temperatur air masuk condenser tertentu kenaikan beban pendinginan akan menaikkan temperatur kerja condenser dan temperatur kerja evaporator, seperti pada grafik 2. Kenaikan beban pendinginan ini juga akan menambah daya kompresor dan mengakibatkan menurunnya harga COP.

Pengaruh yang lebih dominan antara perubahan temperatur air masuk condenser dan perubahan temperatur air masuk evaporator dapat dianalisa dengan membandingkan harga COP yang diakibatkan oleh tingkat perubahan yang sama untuk TA1 maupun TB1 dan mempergunakan sebagian hasil perhitungan yang disajikan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 1. Pengaruh perubahan TA1 dan TB1 terhadap COP

TA1	TB1	P	Q	COP
25	10	30.11	133.88	4.45
25	12	31.82	141.01	4.43
30	10	34.34	120.05	3.50
30	12	36.54	126.37	3.46

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa perubahan TB1 sebesar 20 % mengakibatkan kenaikan daya kompresor sebesar 5.68 % dan kenaikan kapasitas pendinginan sebesar 5.33 %, tetapi COP hanya turun 0.45 %. Jika temperatur air masuk condenser naik 20 %, daya kompresor naik 14.05 % dan kapasitas pendinginan turun 10.33 %, sehingga COP turun sebesar 21.35 %. Dengan demikian pengaruh perubahan temperatur air masuk condenser lebih dominan daripada perubahan temperatur air masuk evaporator atau beban pendinginan.

Kesimpulan

Dari hasil perhitungan di atas dapat diambil kesimpulan antara lain :

1. Temperatur kerja evaporator dan condenser dipengaruhi oleh perubahan beban pendinginan dan temperatur air pendingin condenser yang tersedia. Jika terjadi kenaikan beban pendinginan (kenaikan

TB1), maka temperatur kerja evaporator maupun condenser naik dan COP akan turun.

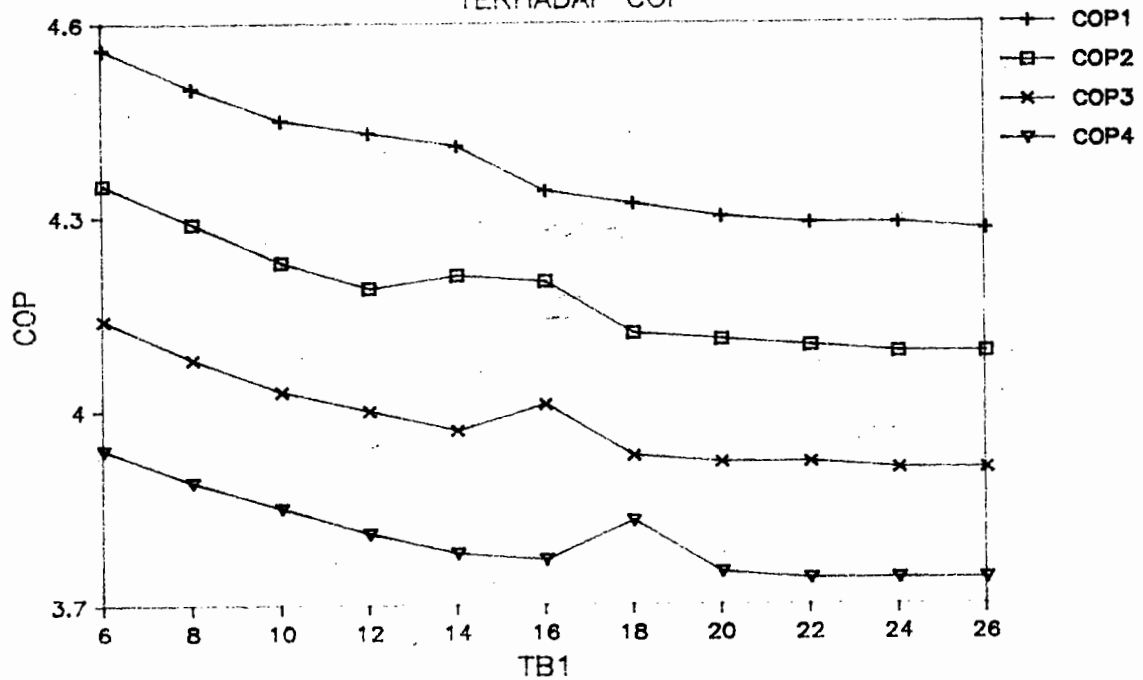
Jika terjadi kenaikan temperatur air masuk condenser, kapasitas pendinginan akan turun, daya kompresor akan naik dan COP turun.

2. Dengan cara perhitungan ini dapat dihindarkan kondisi kerja yang tidak mungkin dilaksanakan akibat pembekuan air dingin pada evaporator.
3. Penyediaan air pendingin condenser perlu diperhatikan karena sangat mempengaruhi kapasitas pendingin dan daya kompresor.
4. Dengan meninjau parameter-parameter yang makin banyak dalam sistem pendingin ini, analisis dapat dikembangkan ke arah optimasi untuk mencari kondisi kerja yang paling baik. Tetapi hal ini memerlukan pembahasan tersendiri.

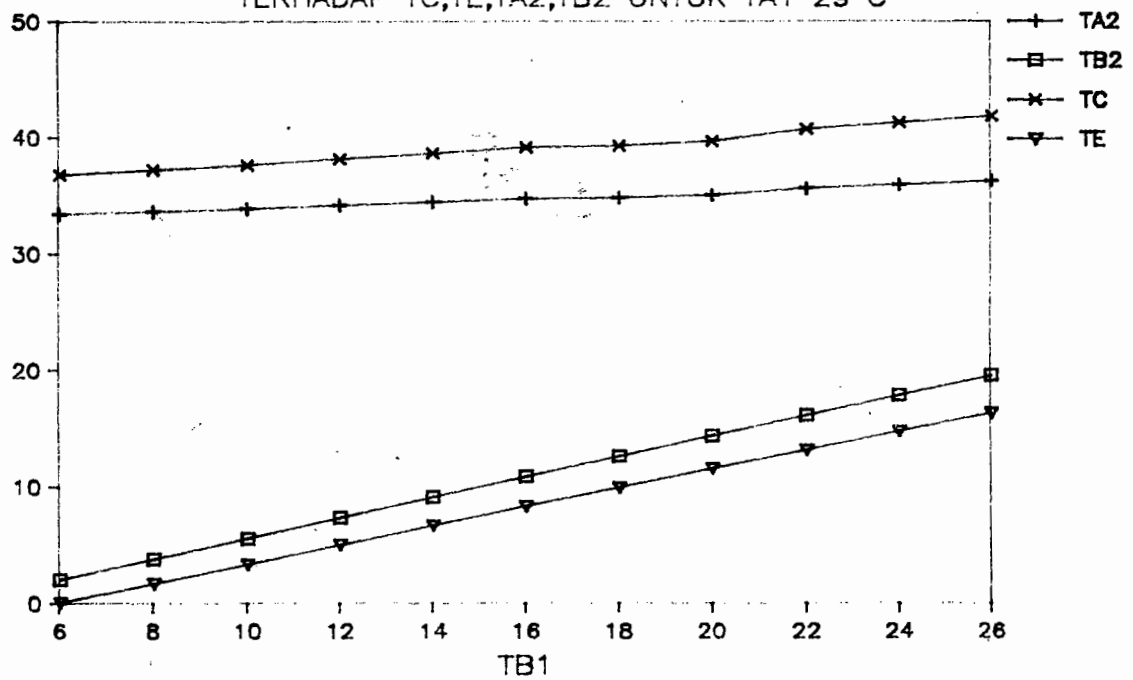
DAFTAR PUSTAKA

1. ARORA C.P., Refrigeration and Air Conditioning, Tata McGraw Hill Publishing Company, Ltd., New Delhi.
2. CHAPRA S.C., Ph.D. and CANALE R.P., Ph.D., 1985, Numerical Methods for Engineers, McGraw Hill Book Company, Singapore.
3. GERALD C.F., 1978, Applied Numerical Analysis, Addison-Wisley Publishing Company, Singapore.
4. HENRICI P., 1964, Element of Numerical Analysis, John Wiley and Sons, Inc., New York.
5. HOLMAN J.P., 1981, Heat Transfer, 5th edition, McGraw Hill, Inc. Tokyo.
6. KREITH F., 1973, Principles of Heat Transfer, 3th. edition, Harper and Row, New York.
7. STOECKER W.F., 1980, Design of Thermal System, 2nd edition, McGraw Hill Kogakusha, Tokyo.
8. STOECKER W.F. and Jones J.W., 1982, Refrigeration and Air Conditioning, 2nd edition, Tata McGraw Hill Publishing Company, Ltd., New Delhi.

Grafik 1. PENGARUH TB1 DAN TA1
TERHADAP COP

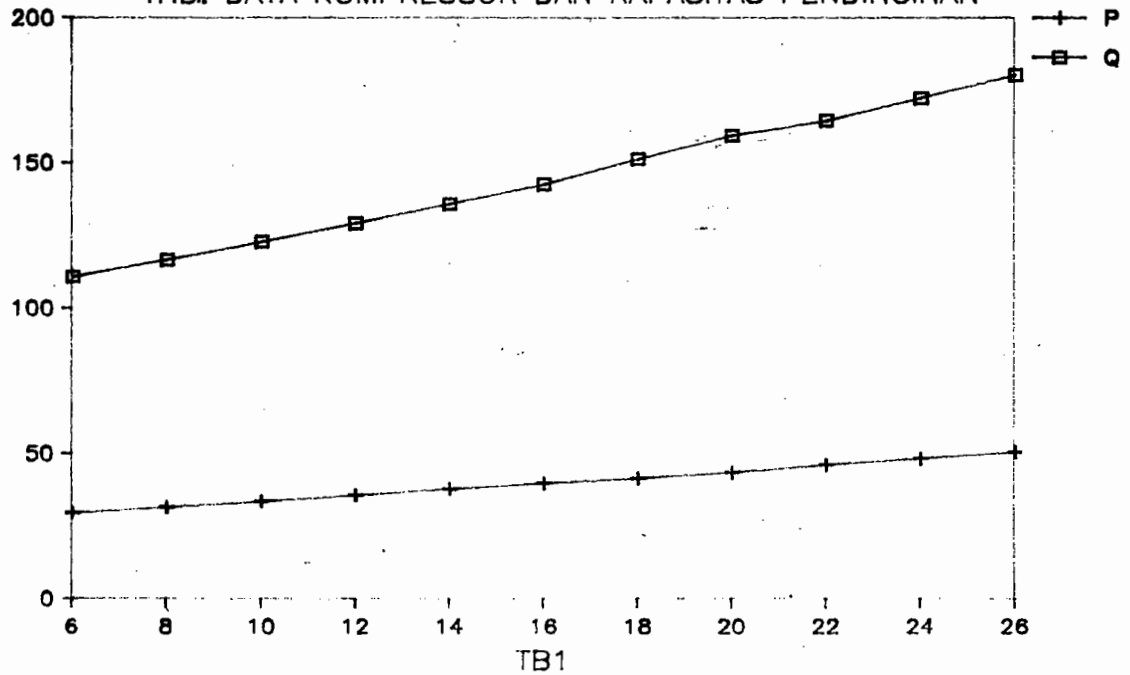


Grafik 2 PENGARUH BEBAN PENDINGINAN
TERHADAP TC, TE, TA2, TB2 UNTUK TA1 29 C



Grafik 3.

PENGARUH TEMPERATUR AIR MASUK EVAPORATOR
THD. DAYA KOMPRESSOR DAN KAPASITAS PENDINGINAN



Lampiran B.1.

Program Perhitungan Unjuk Kerja Sistem Pendingin Secara Analitis

Laju Aliran Massa Air Condenser : 7.6 kg/s
 Laju Aliran Massa Air Evaporator : 6.8 kg/s
 Panas Jenis Air Condenser : 4.19 kJ/kg.K
 Panas Jenis Air Evaporator : 4.1 kJ/kg.K
 Konduktansi Condenser : 26.5 kW/K
 Konduktansi Evaporator : 30.6 kW/K

TA1	TB1	TA2	TB2	TC	TE	P	Q	COP
25.0000	6.0000	29.6562	1.6673	33.24	-0.50	26.51	121.01	4.56
25.0000	8.0000	29.8866	3.4301	33.65	1.14	28.29	127.40	4.50
25.0000	10.0000	30.1496	5.1981	34.12	2.79	30.11	133.88	4.45
25.0000	12.0000	30.3475	6.9557	34.47	4.43	31.82	141.01	4.43
25.0000	14.0000	30.5779	8.7184	34.87	6.07	33.58	148.26	4.41
25.0000	16.0000	30.9681	10.4607	35.57	7.69	35.59	154.44	4.34
25.0000	18.0000	31.2541	12.2010	36.07	9.30	37.44	161.68	4.32
25.0000	20.0000	31.5471	13.9341	36.59	10.90	39.30	169.12	4.30
25.0000	22.0000	31.8474	15.6598	37.12	12.48	41.18	176.77	4.29
25.0000	24.0000	32.1553	17.3781	37.67	14.06	43.09	184.63	4.29
25.0000	26.0000	32.4708	19.0889	38.23	15.63	45.02	192.70	4.28

Keterangan : TA1 = Temperatur Air Masuk Condenser
 TB1 = Temperatur Air Masuk Evaporator
 TA2 = Temperatur Air Keluar Condenser
 TB2 = Temperatur Air Keluar Evaporator
 TC = Temperatur Kerja Condenser
 TE = Temperatur Kerja Evaporator
 P = Power Input
 Q = Kapasitas
 COP = Unjuk Kerja

Lampiran B.2.

Program Perhitungan Unjuk Kerja Sistem Pendingin Secara Analitis

Laju Aliran Massa Air Condenser : 7.6 kg/s
 Laju Aliran Massa Air Evaporator : 6.8 kg/s
 Panas Jenis Air Condenser : 4.19 kJ/kg.K
 Panas Jenis Air Evaporator : 4.1 kJ/kg.K
 Konduktansi Condenser : 26.5 kW/K
 Konduktansi Evaporator : 30.6 kW/K

TA1	TB1	TA2	TB2	TC	TE	P	Q	COP
26.0000	6.0000	30.5966	1.7608	34.14	-0.36	27.26	118.50	4.35
26.0000	8.0000	30.8270	3.5236	34.55	1.28	29.89	124.76	4.29
26.0000	10.0000	31.0904	5.2962	35.01	2.94	30.97	131.14	4.23
26.0000	12.0000	31.3562	7.0598	35.48	4.59	32.84	137.73	4.19
26.0000	14.0000	31.5183	8.8119	35.77	6.21	34.53	145.30	4.21
26.0000	16.0000	31.7488	10.5747	36.18	7.86	36.34	152.79	4.20
26.0000	18.0000	32.1940	12.3077	36.97	9.46	38.51	158.70	4.12
26.0000	20.0000	32.4876	14.0421	37.48	11.06	40.43	166.11	4.11
26.0000	22.0000	32.7888	15.7690	38.02	12.65	42.37	173.73	4.10
26.0000	24.0000	33.0977	17.4882	38.56	14.23	44.34	181.56	4.09
26.0000	26.0000	33.4145	19.1998	39.13	15.79	46.34	189.61	4.09

Keterangan : TA1 = Temperatur Air Masuk Condenser
 TB1 = Temperatur Air Masuk Evaporator
 TA2 = Temperatur Air Keluar Condenser
 TB2 = Temperatur Air Keluar Evaporator
 TC = Temperatur Kerja Condenser
 TE = Temperatur Kerja Evaporator
 P = Power Input
 Q = Kapasitas
 COP = Unjuk Kerja

Lampiran B.3.

Program Perhitungan Unjuk Kerja Sistem Pendingin Secara Analitis

Laju Aliran Massa Air Condenser : 7.6 kg/s
 Laju Aliran Massa Air Evaporator : 6.8 kg/s
 Panas Jenis Air Condenser : 4.19 kJ/kg.K
 Panas Jenis Air Evaporator : 4.1 kJ/kg.K
 Konduktansi Condenser : 26.5 kW/K
 Konduktansi Evaporator : 30.6 kW/K

TA1	TB1	TA2	TB2	TC	TE	P	Q	COP
27.0000	6.0000	31.5370	1.8543	35.03	-0.22	28.02	115.97	4.14
27.0000	8.0000	31.7674	3.6171	35.44	1.42	29.89	122.09	4.08
27.0000	10.0000	32.0310	5.3948	35.91	3.09	31.83	128.39	4.03
27.0000	12.0000	32.2961	7.1611	36.38	4.74	33.76	134.91	4.00
27.0000	14.0000	32.5681	8.9199	36.86	6.38	35.69	141.63	3.97
27.0000	16.0000	32.6892	10.6682	37.07	8.00	37.35	149.75	4.01
27.0000	18.0000	33.1340	12.4147	37.86	9.62	39.60	155.72	3.93
27.0000	20.0000	33.4282	14.1505	38.38	11.22	41.57	163.09	3.92
27.0000	22.0000	33.7303	15.8784	38.91	12.81	43.58	170.67	3.92
27.0000	24.0000	34.0404	17.5986	39.46	14.39	45.61	178.48	3.91
27.0000	26.0000	34.3586	19.3109	40.03	15.96	47.67	186.50	3.91

Keterangan : TA1 = Temperatur Air Masuk Condenser
 TB1 = Temperatur Air Masuk Evaporator
 TA2 = Temperatur Air Keluar Condenser
 TB2 = Temperatur Air Keluar Evaporator
 TC = Temperatur Kerja Condenser
 TE = Temperatur Kerja Evaporator
 P = Power Input
 Q = Kapasitas
 COP = Unjuk Kerja

Lampiran B.4.

Program Perhitungan Unjuk Kerja Sistem Pendingin Secara Analitis

Laju Aliran Massa Air Condenser : 7.6 kg/s
 Laju Aliran Massa Air Evaporator : 6.8 kg/s
 Panas Jenis Air Condenser : 4.19 kJ/kg.K
 Panas Jenis Air Evaporator : 4.1 kJ/kg.K
 Konduktansi Condenser : 26.5 kW/K
 Konduktansi Evaporator : 30.6 kW/K

TA1	TB1	TA2	TB2	TC	TE	P	Q	COP
28.0000	6.0000	32.4774	1.9479	35.93	-0.08	28.77	113.40	3.94
28.0000	8.0000	32.7079	3.7106	36.33	1.56	30.69	119.40	3.89
28.0000	10.0000	32.9383	5.4734	36.74	3.21	32.61	125.71	3.85
28.0000	12.0000	33.2357	7.2627	37.27	4.89	34.68	132.07	3.81
28.0000	14.0000	33.5076	9.0238	37.75	6.53	36.67	138.74	3.78
28.0000	16.0000	33.7870	10.7768	38.24	8.16	38.67	145.62	3.77
28.0000	18.0000	33.8601	12.5245	38.37	9.78	40.29	154.42	3.83
28.0000	20.0000	34.3691	14.2591	39.28	11.30	42.73	160.06	3.75
28.0000	22.0000	34.6721	15.9882	39.81	12.98	44.80	167.61	3.74
28.0000	24.0000	34.9834	17.7093	40.36	14.56	46.89	175.39	3.74
28.0000	26.0000	35.3029	19.4225	40.93	16.13	49.03	183.39	3.74

Keterangan : TA1 = Temperatur Air Masuk Condenser
 TB1 = Temperatur Air Masuk Evaporator
 TA2 = Temperatur Air Keluar Condenser
 TB2 = Temperatur Air Keluar Evaporator
 TC = Temperatur Kerja Condenser
 TE = Temperatur Kerja Evaporator
 P = Power Input
 Q = Kapasitas
 COP = Unjuk Kerja

Lampiran B.5.

Program Perhitungan Unjuk Kerja Sistem Pendingin Secara Analitis

Laju Aliran Massa Air Condenser : 7.6 kg/s
 Laju Aliran Massa Air Evaporator : 6.8 kg/s
 Panas Jenis Air Condenser : 4.19 kJ/kg.K
 Panas Jenis Air Evaporator : 4.1 kJ/kg.K
 Konduktansi Condenser : 26.5 kW/K
 Konduktansi Evaporator : 30.6 kW/K

TA1	TB1	TA2	TB2	TC	TE	P	Q	COP
29.0000	6.0000	33.4178	2.0414	36.82	0.06	29.52	110.81	3.75
29.0000	8.0000	33.6483	3.8041	37.23	1.70	31.50	116.68	3.70
29.0000	10.0000	33.8787	5.5669	37.64	3.35	33.47	122.89	3.67
29.0000	12.0000	34.1753	7.3648	38.16	5.04	35.61	129.23	3.63
29.0000	14.0000	34.4471	9.1280	38.64	6.69	37.66	135.83	3.61
29.0000	16.0000	34.7267	10.8829	39.14	8.32	39.72	142.66	3.59
29.0000	18.0000	34.8005	12.6180	39.27	9.92	41.38	151.30	3.66
29.0000	20.0000	35.0309	14.3808	39.68	11.57	43.36	159.37	3.68
29.0000	22.0000	35.6142	16.0982	40.71	13.14	46.04	164.54	3.57
29.0000	24.0000	35.9267	17.8203	41.26	14.73	48.20	172.30	3.57
29.0000	26.0000	36.2476	19.5344	41.83	16.30	50.40	180.27	3.58

Keterangan : TA1 = Temperatur Air Masuk Condenser
 TB1 = Temperatur Air Masuk Evaporator
 TA2 = Temperatur Air Keluar Condenser
 TB2 = Temperatur Air Keluar Evaporator
 TC = Temperatur Kerja Condenser
 TE = Temperatur Kerja Evaporator
 P = Power Input
 Q = Kapasitas
 COP = Unjuk Kerja

Lampiran B.6.

Program Perhitungan Unjuk Kerja Sistem Pendingin Secara Analitis

Laju Aliran Massa Air Condenser : 7.6 kg/s
 Laju Aliran Massa Air Evaporator : 6.8 kg/s
 Panas Jenis Air Condenser : 4.19 kJ/kg.K
 Panas Jenis Air Evaporator : 4.1 kJ/kg.K
 Konduktansi Condenser : 26.5 kW/K
 Konduktansi Evaporator : 30.6 kW/K

TA1	TB1	TA2	TB2	TC	TE	P	Q	COP
30.0000	6.0000	34.3583	2.1349	37.72	0.20	30.27	108.19	3.57
30.0000	8.0000	34.5887	3.8977	38.12	1.84	32.31	113.95	3.53
30.0000	10.0000	34.8191	5.6604	38.53	3.49	34.34	120.05	3.50
30.0000	12.0000	35.1147	7.4673	39.05	5.20	36.54	126.37	3.46
30.0000	14.0000	35.3865	9.2325	39.54	6.84	38.66	132.92	3.44
30.0000	16.0000	35.6665	10.9892	40.03	8.48	40.78	139.70	3.43
30.0000	18.0000	35.9548	12.7374	40.54	10.10	42.93	146.72	3.42
30.0000	20.0000	35.9713	14.4743	40.57	11.71	44.52	156.19	3.51
30.0000	22.0000	36.5566	16.2086	41.61	13.31	47.30	161.47	3.41
30.0000	24.0000	36.8703	17.9317	42.16	14.89	49.53	169.19	3.42
30.0000	26.0000	37.1926	19.6467	42.73	16.46	51.80	177.14	3.42

Keterangan : TA1 = Temperatur Air Masuk Condenser
 TB1 = Temperatur Air Masuk Evaporator
 TA2 = Temperatur Air Keluar Condenser
 TB2 = Temperatur Air Keluar Evaporator
 TC = Temperatur Kerja Condenser
 TE = Temperatur Kerja Evaporator
 P = Power Input
 Q = Kapasitas
 COP = Unjuk Kerja

Lampiran B.7.

Program Perhitungan Unjuk Kerja Sistem Pendingin Secara Analitis

Laju Aliran Massa Air Condenser : 7.6 kg/s
 Laju Aliran Massa Air Evaporator : 6.8 kg/s
 Panas Jenis Air Condenser : 4.19 kJ/kg.K
 Panas Jenis Air Evaporator : 4.1 kJ/kg.K
 Konduktansi Condenser : 26.5 kW/K
 Konduktansi Evaporator : 30.6 kW/K

TA1	TB1	TA2	TB2	TC	TE	P	Q	COP
31.0000	6.0000	35.2987	2.2284	39.61	0.34	31.03	105.54	3.40
31.0000	8.0000	35.5291	3.9912	39.02	1.98	33.12	111.19	3.36
31.0000	10.0000	35.7596	5.7539	39.43	3.63	35.21	117.19	3.33
31.0000	12.0000	36.0540	7.5702	39.95	5.35	37.49	123.50	3.29
31.0000	14.0000	36.3260	9.3374	40.43	7.00	39.66	129.99	3.28
31.0000	16.0000	36.6064	11.0959	40.93	8.64	41.86	136.73	3.27
31.0000	18.0000	36.8954	12.8456	41.44	10.26	44.07	143.70	3.26
31.0000	20.0000	37.1930	14.5867	41.96	11.88	46.30	150.92	3.26
31.0000	22.0000	37.1422	16.3306	41.82	13.49	47.00	161.41	3.30
31.0000	24.0000	37.8142	18.0434	43.06	15.06	50.80	166.07	3.26
31.0000	26.0000	38.1379	19.7594	43.64	16.63	53.22	173.99	3.27

Keterangan : TA1 = Temperatur Air Masuk Condenser
 TB1 = Temperatur Air Masuk Evaporator
 TA2 = Temperatur Air Keluar Condenser
 TB2 = Temperatur Air Keluar Evaporator
 TC = Temperatur Kerja Condenser
 TE = Temperatur Kerja Evaporator
 P = Power Input
 Q = Kapasitas
 COP = Unjuk Kerja

Lampiran B.8.

Program Perhitungan Unjuk Kerja Sistem Pendingin Secara Analitis

Laju Aliran Massa Air Condenser : 7.6 kg/s
 Laju Aliran Massa Air Evaporator : 6.8 kg/s
 Panas Jenis Air Condenser : 4.19 kJ/kg.K
 Panas Jenis Air Evaporator : 4.1 kJ/kg.K
 Konduktansi Condenser : 26.5 kW/K
 Konduktansi Evaporator : 30.6 kW/K

TA1	TB1	TA2	TB2	TC	TE	P	Q	COP
32.0000	6.0000	36.2391	2.3219	39.50	0.48	31.79	102.87	3.24
32.0000	8.0000	36.4695	4.0847	39.91	2.12	33.93	108.41	3.19
32.0000	10.0000	36.7000	5.8475	40.32	3.77	36.08	114.32	3.17
32.0000	12.0000	36.9932	7.6735	40.84	5.51	38.44	120.62	3.14
32.0000	14.0000	37.2655	9.4427	41.32	7.16	40.68	127.06	3.12
32.0000	16.0000	37.5465	11.2029	41.82	8.80	42.94	133.74	3.11
32.0000	18.0000	37.8362	12.9541	42.33	10.43	45.22	140.68	3.11
32.0000	20.0000	38.1348	14.6965	42.86	12.04	47.53	147.86	3.11
32.0000	22.0000	38.0826	16.4241	42.77	13.63	49.06	158.17	3.22
32.0000	24.0000	38.7585	18.1556	43.96	15.23	52.25	162.94	3.12
32.0000	26.0000	39.0836	19.8726	44.54	16.80	54.67	170.83	3.12

Keterangan : TA1 = Temperatur Air Masuk Condenser
 TB1 = Temperatur Air Masuk Evaporator
 TA2 = Temperatur Air keluar Condenser
 TB2 = Temperatur Air Keluar Evaporator
 TC = Temperatur Kerja Condenser
 TE = Temperatur Kerja Evaporator
 P = Power Input
 Q = Kapasitas
 COP = Unjuk Kerja

Lampiran B.9.

Program Perhitungan Unjuk Kerja Sistem Pendingin Secara Analitis

Laju Aliran Massa Air Condenser : 7.6 kg/s
 Laju Aliran Massa Air Evaporator : 6.8 kg/s
 Panas Jenis Air Condenser : 4.19 kJ/kg.K
 Panas Jenis Air Evaporator : 4.1 kJ/kg.K
 Konduktansi Condenser : 26.5 kW/K
 Konduktansi Evaporator : 30.6 kW/K

TA1	TB1	TA2	TB2	TC	TE	P	Q	COP
33.0000	6.0000	37.1795	2.4154	40.40	0.62	32.55	100.17	3.08
33.0000	8.0000	37.4100	4.1782	40.81	2.26	34.75	105.61	3.04
33.0000	10.0000	37.6404	5.9410	41.21	3.91	36.96	111.43	3.01
33.0000	12.0000	37.9324	7.7771	41.73	5.66	39.40	117.73	2.99
33.0000	14.0000	38.2050	9.5483	42.21	7.32	41.71	124.11	2.98
33.0000	16.0000	38.4866	11.3101	42.71	8.96	44.04	130.75	2.97
33.0000	18.0000	38.7772	13.0629	43.23	10.59	46.39	137.65	2.97
33.0000	20.0000	39.0768	14.8066	43.76	12.21	48.77	144.79	2.97
33.0000	22.0000	39.3854	16.5416	44.30	13.81	51.18	152.18	2.97
33.0000	24.0000	39.2535	18.2804	44.07	15.42	52.58	163.68	3.11
33.0000	26.0000	40.0296	19.9863	45.44	16.97	56.14	167.66	2.99

Keterangan : TA1 = Temperatur Air Masuk Condenser
 TB1 = Temperatur Air Masuk Evaporator
 TA2 = Temperatur Air Keluar Condenser
 TB2 = Temperatur Air Keluar Evaporator
 TC = Temperatur Kerja Condenser
 TE = Temperatur Kerja Evaporator
 P = Power Input
 Q = Kapasitas
 COP = Unjuk Kerja